

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-082692

(43)Date of publication of application : 28.03.1997

---

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

C23C 14/34

C23C 16/56

C23F 4/00

H01L 21/203

H01L 21/205

H05H 1/46

---

(21)Application number : 07-258557 (71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC

IND CO LTD

(22)Date of filing : 05.10.1995 (72)Inventor : OKUMURA TOMOHIRO

NAKAYAMA ICHIRO

YANAGI YOSHIHIRO

---

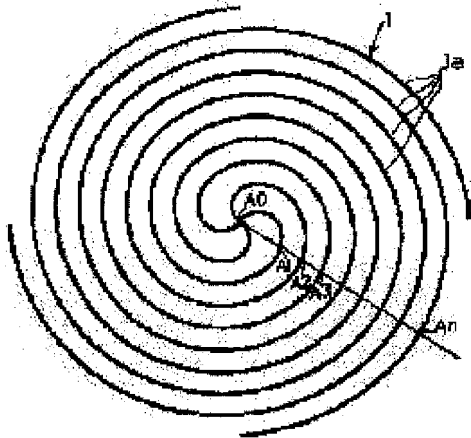
(30)Priority

Priority number : 95 528164 Priority date : 14.09.1995 Priority country : US

---

(54) PLASMA PROCESSING SYSTEM

(57)Abstract:



PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high-frequency induction coupling plasma processing system which is prevented from both deteriorating in power efficiency due to a matching parallel coil of a discharge coil matching circuit and increasing in temperature and capable of improving a

substrate in plasma density distribution through its surface.

SOLUTION: A discharge coil 1 is partially or totally made in a multi-spiral form, and a space between adjacent conductors 1a which form the center-side discharge coil is set wider than that between the other adjacent conductors 1a which form the peripheral-side discharge coil.

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] It has a vacuum housing, a substrate electrode, a discharge coil, an RF generator, and the matching circuit that was connected to the discharge coil with

lead wire, and was connected to the RF generator with the interconnection cable. While forming a discharge coil at a multiplex eddy form in the plasma treatment equipment which is made to generate the plasma and processes the substrate on a substrate electrode in a vacuum housing by impressing high-frequency voltage to a discharge coil, the part or all Plasma treatment equipment characterized by making it larger [ \*\*\*\*\* spacing / mutually / the lead wire which constitutes the discharge coil by the side of the circumference of a discharge coil ] mutually [ the lead wire which constitutes the above-mentioned discharge coil by the side of the core of a discharge coil ] than \*\*\*\*\* spacing.

[Claim 2] It has a vacuum housing, a substrate electrode, a discharge coil, an RF generator, and the matching circuit that was connected to the discharge coil with lead wire, and was connected to the RF generator with the interconnection cable. While forming a discharge coil at a multiplex eddy form in the plasma treatment equipment which is made to generate the plasma and processes the substrate on a substrate electrode in a vacuum housing by impressing high-frequency voltage to a discharge coil, the part or all Plasma treatment equipment characterized by forming in the three-dimensional structure of a temple bell form.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the plasma treatment equipment of a RF inductive-coupling method especially about the plasma treatment equipment which can be used for a semi-conductor and the dry etching in a thin-film-circuit-fabrication process, sputtering, plasma CVD, etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] In order to realize processing of a high aspect ratio etc. in a dry etching technique in recent years corresponding to detailed-izing of a semiconductor device, and in order to realize embedding of a high aspect ratio etc. in a plasma-CVD technique, performing plasma treatment by the high vacuum more is called for.

[0003] For example, in the case of dry etching, if the high density plasma is generated in a high vacuum, since the probability for ion to collide with a neutral radical particle in the ion sheath formed in a substrate front face will decrease, the ratio of the incidence particle flux of the ion pair neutral radical to which the

directivity of ion reaches a substrate toward a substrate since a set and ionization degree are high becomes large. By generating the high density plasma in a high vacuum, an etching anisotropy is raised and it becomes processible [ which it is a high aspect ratio ] from this.

[0004] Moreover, in the case of plasma CVD, if the high density plasma is generated in a high vacuum, the embedding and planation of a detailed pattern will be obtained according to the sputtering effectiveness by ion, and the embedding which is a high aspect ratio will become possible.

[0005] The configuration of the plasma treatment equipment of the conventional common parallel plate mold is explained with reference to drawing 7 . In drawing 7 , the substrate electrode 4 and counterelectrode 30 which lay a substrate 5 in a vacuum housing 3 are arranged, and by impressing high-frequency voltage by RF generator 6 for electrodes between these electrodes 4 and 30, it is constituted so that the plasma may be generated in a vacuum housing 3. In addition, the matching circuit 7 for electrodes is a circuit for making a load impedance match with the characteristic impedance of the interconnection cable 8 for electrodes.

[0006] By this method, in order that the probability of collision of an electron and

ion may decrease as a degree of vacuum becomes high, when it is difficult to generate the high density plasma in a high vacuum, and sufficient processing speed does not tend to be obtained, and high-frequency voltage tends to be made high by force and it is going to make a plasma consistency high, it becomes large, and etch selectivity will fall or ion energy will give a damage to a substrate.

[0007] The plasma treatment equipment of a RF inductive-coupling method made to generate the plasma is in a vacuum housing by impressing high-frequency voltage to a discharge coil to this parallel plate type of plasma treatment equipment as one of the plasma treatment equipment which can generate the high density plasma in a high vacuum. The plasma treatment equipment of this method generates a high-frequency field in a vacuum housing, if it generates induction field, accelerates an electron, and generates the plasma and a coil current is enlarged into a vacuum housing by that high-frequency field, can generate the high density plasma also in a high vacuum, and can obtain sufficient processing speed.

[0008] As plasma treatment equipment of a RF inductive-coupling method, a plate mold as shown mainly in drawing 8 , and cylindrical, as shown in drawing 9

are known. In drawing 8 and drawing 9 , 31 is a plate mold discharge coil, 32 is a cylindrical discharge coil, and, as for the RF generator for discharge coils, and 10, 9 is [ the matching circuit for discharge coils and 11 ] the interconnection cables for discharge coils. The matching circuit 10 for discharge coils and discharge coils 31 and 32 are connected with lead wire 12. In addition, a vacuum housing 3, the substrate electrode 4, the substrate 5, RF generator 6 for electrodes, the matching circuit 7 for electrodes, and the interconnection cable 8 for electrodes are the same as that of drawing 7 .

[0009] In drawing 8 and drawing 9 , if high-frequency voltage is impressed to discharge coils 31 and 32 by RF generator 9 for discharge coils, exhausting introducing gas suitable in a vacuum housing 3, and maintaining the inside of a vacuum housing 3 at a suitable pressure, the plasma occurs in a vacuum housing 3 and plasma treatment, such as etching, deposition, and surface treatment, can be performed to the substrate 5 laid on the substrate electrode 4. At this time, the ion energy which reaches a substrate 5 is controllable by impressing high-frequency voltage also to the substrate electrode 4 by RF generator 6 for electrodes to be shown in drawing 8 and drawing 9 .

[0010]



[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the conventional method shown in drawing 8 and drawing 9 , there is a problem power efficiency not only declines, but that the power loss in the matching circuit 10 for discharge coils may be large, and the temperature rise of the matching circuit 10 for discharge coils may arise.

[0011] When it explains in detail below, drawing 10 is the circuit diagram of the typical matching circuit 10 for discharge coils. As for an input terminal, and 14 and 15, 13 is [ a variable capacitor and 16 ] the series coils for matching. It can respond to fine fluctuation of load impedance by carrying out feedback control of the capacity of variable capacitors 14 and 15. It is necessary to change the number of turns of the series coil 16 for matching depending on the magnitude of a load impedance, to remove the series coil 16 for matching, or to insert a fixed capacitor 17 or 18. In addition, 19 is an output terminal.

[0012] Drawing 11 is a Smith chart and a shadow area shows the adjustment range of the matching circuit 10 for discharge coils shown in drawing 10 . Although the adjustment range shown in drawing 11 with a natural thing by the constant of each component in the matching circuit 10 for discharge coils also changes, the case where it is typical here is illustrated. In the complex

representation of a discharge coil 31 or the impedance of 32, the discharge coil 31 in case the imaginary part is 5 times the characteristic impedance of the interconnection cable 11 for discharge coils, or the impedance of 32 is shown in Curve A. Drawing 11 shows that most curves A have separated from the adjustment range.

[0013] Then, in the matching circuit 10 for discharge coils, as shown in drawing 12, there are some which connected the juxtaposition coil 20 for matching with the same impedance as a discharge coil 31 or the imaginary part in the complex representation of the impedance of 32, and since the imaginary component will be the 2.5 times one half of Curve A, i.e., the characteristic impedance of the interconnection cable 11 for discharge coils, the impedance which saw the load side from the load side edge child of a variable capacitor 15 in that case is expressed with the curve B of drawing 11. Usually, since the real component of a discharge coil 31 or the impedance of 32 is very small and a part of curve B (a real component is the range of 1.3 or less times [ of the characteristic impedance of the interconnection cable 11 for discharge coils ] most) is in adjustment within the limits, it turns out that matching can be taken now by using the juxtaposition coil 20 for matching.

[0014] Although the above explanation described the case where the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching was the same as a discharge coil 31 or the impedance of 32, matching cannot be taken unless it makes quite small the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching, when a discharge coil 31 or the impedance of 32 is large. Moreover, since the margin to matching becomes larger as the imaginary component of the impedance which saw the load side from the load side edge child of a variable capacitor 15 is small even if a discharge coil 31 or the impedance of 32 is not so large, I want to make small the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching as much as possible. In such a case, in circuit, since the juxtaposition coil 20 for matching and discharge coils 31 or 32 are connected to juxtaposition, a big current will flow with the juxtaposition coil 20 for matching rather than a discharge coil 31 or 32. Therefore, even if the real component of the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching is a value small [ even if ], while it becomes impossible to disregard the power loss of a there, power efficiency declines. And since this power loss is equivalent to the calorific value of the juxtaposition coil 20 for matching, it will cause the temperature rise in the matching circuit 10 for discharge coils.

[0015] Moreover, if it is going to generate the plasma with the sufficient

homogeneity within a substrate side in a vacuum housing 3 in the case of plate mold RF inductive-coupling method plasma treatment equipment, the discharge coil 31 of the magnitude same at least as the magnitude of a substrate 5 is required. As a configuration of a discharge coil 31, an one-volume coil as shown in drawing 13 can be considered. Generally, since the inductance of a coil becomes so large that the diameter of a coil is large, when a substrate 5 is large, the inductance of a discharge coil 31 also cannot but become large after all. Furthermore, if it is going to improve the homogeneity within a substrate side, as for the configuration of a discharge coil 31, it is desirable to make it an eddy form coil as shown in drawing 14 . If an eddy form coil is compared with an one-volume coil and the diameter of the outermost of a discharge coil 31 is comparable, naturally the eddy form coil of an inductance is larger. The inductance of the discharge coil 31 of an eddy form with which the homogeneity of the plasma consistency which ends into the diameter of 150mm becomes less than 3% in our measurement was 1.1 microhenries in some discharge conditions. When the frequency of RF generator 9 for discharge coils is 13.56MHz, since the imaginary component of the impedance of a discharge coil 31 is 94ohms, it serves as 50-ohm 2 double weakness which is the general

value of the characteristic impedance of the interconnection cable 11 for discharge coils. If it is a value of this level, even when he has no juxtaposition coil 20 for matching, it is possible to take matching, but as stated previously, when the margin to matching is considered, the direction which inserted the about 0.5-1-microhenry coil as a juxtaposition coil 20 for matching is desirable from a viewpoint of the margin to matching.

[0016] By the way, when the frequency of RF generator 9 for discharge coils is 40MHz, for example, the impedance of the 1.1 above-mentioned microhenries discharge coil 31 is set to 276 ohms ( $=50\text{ohm} \times 5.5$ ), and since the impedance of a discharge coil 31 is proportional to a frequency, in order to take matching, the juxtaposition coil 20 for matching becomes indispensable.

[0017] Moreover, when a substrate 5 is large, or when you want to carry out batch processing, in order to make a large area generate the uniform plasma, even if it is naturally necessary to enlarge a discharge coil 31 and the frequency of RF generator 9 for coils is 13.56MHz, the impedance of a discharge coil 31 may be set to hundreds of ohms. In order to take matching also in this case, the juxtaposition coil 20 for matching becomes indispensable.

[0018] Then, as a configuration of the discharge coil which can make a large

area generate the uniform plasma, and can make the impedance of a discharge coil 31 small, as shown in drawing 15 , how to carry out parallel connection of two or more eddy form coils can be considered. However, if it is made such a discharge coil configuration, since a part of high-frequency field which a \*\*\*\*\* coil comrade makes will offset each other, the problem that sufficient plasma consistency cannot be obtained is produced. Although the total inductance of a discharge coil was set to 0.51 microhenries and it has decreased to 59% when the four same eddy form coils were used by parallel connection as compared with the case where one of the 1.3-microhenry eddy form coils is used according to our measurement, the plasma consistency has fallen to 11%.

[0019] Since the screw type discharge coil 32 is arranged on the outside of a vacuum housing 3 in the case of cylindrical RF inductive-coupling method plasma treatment equipment, the screw type discharge coil 32 of the magnitude same at least as the appearance of a vacuum housing 3 will be used. Therefore, generally compared with plate mold RF inductive-coupling method plasma treatment equipment, the inductance of a discharge coil 32 becomes large. Therefore, in order to take matching, the juxtaposition coil 20 for matching is needed in many cases for the margin reservation to matching. In our

measurement, when a cylindrical diameter was 300mm, the inductance of the screw type discharge coil 2 was 1.8 microhenries (= 150 ohms, 13.56MHz).

[0020] The juxtaposition coil 20 for matching is needed for the discharge coil 31 for enlargement of processing area, and high-frequency-izing of an impression frequency, inductance buildup of 32, or amplification-izing of the margin to matching so that the above explanation may show, but if the juxtaposition coil 20 for matching is used, when especially the imaginary component of the impedance is small, while power loss arises inevitably, power efficiency will decline there. And since this power loss was equivalent to the calorific value of the juxtaposition coil 20 for matching, it had the problem that the temperature rise in the matching circuit 10 for discharge coils would be caused.

[0021] In view of the above-mentioned conventional trouble, a coil especially with the small imaginary component of an impedance does not need to be used for this invention as a juxtaposition coil for matching, it does not need the juxtaposition coil for matching, therefore its decline in power efficiency is small, and the temperature rise of the matching circuit for discharge coils aims at offering small inductive-coupling method plasma treatment equipment.

[0022]

[Means for Solving the Problem] The plasma treatment equipment of the 1st invention of this application A vacuum housing, a substrate electrode, and a discharge coil, It has an RF generator and the matching circuit which was connected to the discharge coil with lead wire, and was connected to the RF generator with the interconnection cable. While forming a discharge coil at a multiplex eddy form in the plasma treatment equipment which is made to generate the plasma and processes the substrate on a substrate electrode in a vacuum housing by impressing high-frequency voltage to a discharge coil, the part or all It is characterized by making it larger [ \*\*\*\*\* spacing / mutually / the lead wire which constitutes the discharge coil of the periphery of a discharge coil ] mutually [ the lead wire which constitutes the above-mentioned discharge coil by the side of the core of a discharge coil ] than \*\*\*\*\* spacing.

[0023] The plasma treatment equipment of the 2nd invention of this application A vacuum housing, a substrate electrode, and a discharge coil, It has an RF generator and the matching circuit which was connected to the discharge coil with lead wire, and was connected to the RF generator with the interconnection cable. In the plasma treatment equipment which is made to generate the plasma in a vacuum housing by impressing high-frequency voltage to a discharge coil,



and processes the substrate on a substrate electrode, it is characterized by forming a discharge coil in the three-dimensional structure of a temple bell form, while forming the part or all at the multiplex eddy form.

[0024] According to the 1st invention of this application, since some or all of a discharge coil is a multiplex eddy form, the impedance of a discharge coil can be made small, and matching can be taken even if it, as a result, does not use the juxtaposition coil for matching especially with the small imaginary component of an impedance. Moreover, since according to the 1st invention of this application \*\*\*\*\* spacing is mutually [ the lead wire which constitutes the discharge coil by the side of the circumference of a discharge coil ] larger than \*\*\*\*\* spacing mutually [ the lead wire which constitutes the above-mentioned discharge coil by the side of the core of a discharge coil ] and it is making, the distribution within the substrate side of a plasma consistency can be raised remarkably. Therefore, according to the 1st invention of this application, decline in power efficiency is small, and the distribution within the substrate side of a plasma consistency is good, and can offer inductive-coupling method plasma treatment equipment with the small temperature rise of the matching circuit for discharge coils.

[0025] According to the 2nd invention of this application, since some or all of a

discharge coil is a multiplex eddy form, the impedance of a discharge coil can be made small, and matching can be taken even if it, as a result, does not use the juxtaposition coil for matching especially with the small imaginary component of an impedance. Moreover, the uniform plasma can be generated, being able to store the outer diameter of a discharge coil within fixed limits, since said discharge coil is formed in the three-dimensional structure of a temple bell form according to the 2nd invention of this application. Therefore, according to the 2nd invention of this application, though decline in power efficiency is small and the outer diameter of a discharge coil is smallness, the homogeneity of a plasma generating consistency is good and can offer inductive-coupling method plasma treatment equipment with the small temperature rise of the matching circuit for discharge coils.

[0026]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the plasma treatment equipment of the 1st operation gestalt is explained with reference to drawing 1 and drawing 8 . In addition, the whole plasma treatment equipment configuration is the same as that of what was explained with reference to drawing 8 about the conventional example, uses the explanation and omits explanation here.

[0027] With this operation gestalt, instead of the discharge coil 31 of drawing 8 , as shown in drawing 1 , the discharge coil 1 of multiplex eddy type is used. This discharge coil 1 combines discharge coil (lead wire) 1a of four eddy type with one in a core, and arranges it at equal intervals to a hoop direction, a core is connected to RF generator 9, and the periphery edge is grounded, respectively.

[0028] Thus, in the constituted plasma treatment equipment, both the frequencies of argon flow rate 30SCCM, pressure 10mTorr, RF generator 9 for discharge coils, and RF generator 6 for substrate electrodes were 51ohms of 1.5 ohm+j, when the impedance of the discharge coil 1 in case 13.56MHz and charge power are 1000W and 300W, respectively was measured. In addition, since the thing with a characteristic impedance of 50 ohms was used for the interconnection cable 11 for discharge coils, its imaginary component of the impedance of a discharge coil 1 is almost equal to the characteristic impedance of the interconnection cable 11 for discharge coils. Therefore, even if it does not use the juxtaposition coil 20 for matching so that clearly from the Smith chart of drawing 11 , matching can be taken, and moreover, the margin to sufficient matching can be secured. Moreover, the homogeneity within a field of a plasma consistency was also as practically equal as the case of the plate mold

discharge coil 31 ( drawing 14 ) shown in the conventional example also as a plasma consistency by 3% or less in the diameter of 150mm. By the case of the plate mold discharge coil 31 shown in the conventional example, since the imaginary component of the impedance of a discharge coil was 94ohms, while the equivalent plasma was acquired as compared with the conventional example, it is able to stop the imaginary component of the impedance of a discharge coil to 54% with this operation gestalt.

[0029] Moreover, when experimented by changing the frequency of RF generator 9 for discharge coils into 40MHz, in the case of the conventional eddy form discharge coil 31, matching was not able to be taken without the juxtaposition coil 20 for matching, but in the multiplex eddy type discharge coil 1, since the imaginary component of the impedance was 150ohms (=50ohmx3), it was able to take matching, without using the juxtaposition coil 20 for matching. In order to secure the margin to larger matching, the juxtaposition coil 20 for matching may be used, but since it was [ direction ] far large, and the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching which is needed for comparable margin reservation used the multiplex eddy type discharge coil 1 and ends, its power loss in the juxtaposition coil 20 for matching is also far small, and it ends. In

addition, since it is the case where a power line period is 67MHz, if a margin is disregarded, to the frequency of about 60MHz or less, matching in those without juxtaposition coil 20 for matching is possible for the imaginary component of the impedance of the multiplex eddy type discharge coil 1 being set to 250 ohms (=50ohmx5) at the multiplex eddy type discharge coil 1 of drawing 1 .

[0030] At drawing 1 , it is the core A0 of a discharge coil. The lead wire (discharge coil 1a) and the intersection A1 when the straight line along which it passes constitutes a discharge coil 1, A2, A3, ..., An It crosses and is a core A0. Intersection A1 The intersection A1 of others [ spacing / of a between ], A2, A3, ..., An It is larger than any of spacing of a between. Thus, if constituted, compared with the case where that is not right, the distribution within the substrate side of a plasma consistency can be raised remarkably. That is, mutually [ the lead wire which constitutes the discharge coil by the side of the circumference of a discharge coil ], in order to attain such effectiveness, \*\*\*\*\* spacing constitutes mutually [ the lead wire which constitutes the above-mentioned discharge coil by the side of the core of a discharge coil ] so that more greatly than \*\*\*\*\* spacing.

[0031] Next, the plasma treatment equipment of the 2nd operation gestalt is

explained with reference to drawing 2 and drawing 9 . In addition, the whole plasma treatment equipment configuration is the same as that of what was explained with reference to drawing 9 about the conventional example, uses the explanation and omits explanation here.

[0032] With this operation gestalt, instead of the discharge coil 32 of drawing 9 , as shown in drawing 2 , the discharge coil 2 of a multiplex screw type is used. This discharge coil 2 arranges discharge coil 2a of four screw types at equal intervals to a hoop direction, those ends are connected to toroidal coil 2b and 2c, one toroidal coil 2b is connected to RF generator 9, and toroidal coil 2c of another side is grounded.

[0033] Thus, in the constituted plasma treatment equipment, both the frequencies of argon flow rate 30SCCM, pressure 10mTorr, RF generator 9 for discharge coils, and RF generator 6 for substrate electrodes were 79ohms of 1.8 ohm+j, when the impedance of the discharge coil 2 in case 13.56MHz and charge power are 1000W and 300W, respectively was measured. In addition, since the thing with a characteristic impedance of 50 ohms was used for the interconnection cable 11 for discharge coils, the imaginary component of the impedance of a discharge coil 2 is 1.6 times the characteristic impedance of the

interconnection cable 11 for discharge coils. Therefore, even if it does not use the juxtaposition coil 20 for matching so that clearly from the Smith chart of drawing 11 , matching can be taken, and moreover, the margin to sufficient matching can be secured. It was as practically equal as the case of the cylindrical discharge coil 32 shown in the conventional example also as a plasma consistency. By the case of the cylindrical discharge coil 32 shown in the conventional example, since the imaginary component of the impedance of a discharge coil was 150ohms, while the equivalent plasma was acquired as compared with the conventional example, it is able to stop the imaginary component of the impedance of a discharge coil to 53% with this operation gestalt.

[0034] Moreover, when experimented by changing the frequency of RF generator 9 for discharge coils into 27MHz, in the case of the conventional cylindrical discharge coil 32, matching was not able to be taken without the juxtaposition coil 20 for matching, but in the multiplex screw type discharge coil 2, since the imaginary component of the impedance was 158ohms ( $=50\text{ohm} \times 3.2$ ), it was able to take matching, without using the juxtaposition coil 20 for matching. In order to secure the margin to larger matching, the juxtaposition coil 20 for

matching may be used, but since it was [ direction ] far large, and the impedance of the juxtaposition coil 20 for matching which is needed for comparable margin reservation used the multiplex screw type discharge coil 2 and ends, its power loss in the juxtaposition coil 20 for matching is also far small, and it ends. In addition, since it is the case where a power line period is 43MHz, if a margin is disregarded, to the frequency of about 40MHz or less, matching in those without juxtaposition coil 20 for matching is possible for the imaginary component of the impedance of the multiplex screw type discharge coil 2 being set to 250 ohms (=50ohmx5) at the multiplex screw type discharge coil 2 of drawing 2 .

[0035] In each above-mentioned operation gestalt, the configuration of a discharge coil is not limited to these. For example, the multiplicity of an eddy form coil and a screw type coil may not be 4, and even if it is how many [-fold ], it is not cared about. Since the impedance of a discharge coil is made small, the response to a bigger processing area and the response of it to a higher power line period are attained, so that a multiplicity is high. Moreover, it does not necessarily need to be all discharge coils that a discharge coil is a screw type a multiplex eddy form or multiplex. Some discharge coils as shown in drawing 3 , drawing 4 , drawing 5 , and drawing 6 may be screw types a multiplex eddy form



or multiplex.

[0036] In the example of drawing 3 , a core consists of multiplex eddy type coils 1, the outer edge of each eddy form coil 1a is connected to toroidal coil 1b, and the usual eddy form coil 1c is connected to the outside. The periphery section is constituted from the example of drawing 4 by the multiplex eddy type coil 1, the inner circumference edge of each eddy form coil 1a is connected to 1d of toroidal coils, and the usual eddy form coil 1e is connected to the inside.

[0037] In the example of drawing 5 , the usual screw type coil 2d is connected to the lower part of the multiplex screw type coil 2. In the example of drawing 6 , the usual screw type coils 2d and 2e are connected to both the upper part of the multiplex screw type coil 2, and the lower part.

[0038] It is a core A0 so that the include angle of 90 degrees may be mutually made for the edge by the side of the core of four lead wire 1a, ..., 1a of an eddy form of the same configuration in the discharge coil 1 of drawing 1 . Although it connects and the discharge coil 1 has been applicable to the core, it does not restrict to this configuration. That is, you may make it, connect the lead wire 101a, 101b, 101c, and 101d with a different configuration of an eddy form for example, at the core of a discharge coil 101, as shown in drawing 16 .

[0039] Moreover, you may make it connect mutually the edge by the side of a lead wire [ 102a 102b, 102c, and 102d ] core at an angle of arbitration at the core of a discharge coil 102, as shown in drawing 17 . These discharge coils 101 and 102 are unsymmetrical to the core. Furthermore, you may make it constitute the discharge coil 103 formed in the multiplex eddy form in the three-dimensional structure of a temple bell form, as shown in drawing 18 and drawing 19 . Thus, the effectiveness that the uniform plasma can be generated is also produced, being able to store the outer diameter of a discharge coil 103 within fixed limits by constituting.

[0040] Moreover, in this invention, the number of the lead wire of a discharge coil is not limited to four, and is good as for two. Moreover, what [ not only ] grounds the periphery edge of a discharge coil but a main edge may be grounded.

[0041]

[Effect of the Invention] According to the plasma treatment equipment of the 1st invention of this application, decline in power efficiency is small, and the distribution within the substrate side of a plasma consistency is good, and can offer inductive-coupling method plasma treatment equipment with the small temperature rise of the matching circuit for discharge coils.

[0042] Moreover, according to the plasma treatment equipment of the 2nd invention of this application, though decline in power efficiency is small and the outer diameter of a discharge coil is smallness, the homogeneity of a plasma generating consistency is good and can offer inductive-coupling method plasma treatment equipment with the small temperature rise of the matching circuit for discharge coils.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

### [Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the top view showing the discharge coil configuration of the plasma treatment equipment in the 1st operation gestalt.

[Drawing 2] It is the perspective view showing the discharge coil configuration of the plasma treatment equipment in the 2nd operation gestalt.

[Drawing 3] It is the top view showing the discharge coil configuration of other gestalten.

[Drawing 4] It is the top view showing the discharge coil configuration of still

more nearly another gestalt.

[Drawing 5] It is the perspective view showing the discharge coil configuration of still more nearly another gestalt.

[Drawing 6] It is the perspective view showing the discharge coil configuration of still more nearly another gestalt.

[Drawing 7] It is the block diagram of the plasma treatment equipment of the parallel plate mold of the conventional example.

[Drawing 8] It is the block diagram of the plate mold RF inductive-coupling method plasma treatment equipment of the conventional example.

[Drawing 9] It is the block diagram of the cylindrical RF inductive-coupling method plasma treatment equipment of the conventional example.

[Drawing 10] It is the block diagram of the typical matching circuit for discharge coils.

[Drawing 11] It is the Smith chart which shows the adjustment range of the matching circuit of drawing 10 .

[Drawing 12] It is the block diagram of the matching circuit for discharge coils using the juxtaposition coil for matching.

[Drawing 13] It is the top view showing the detail of the discharge coil of the

conventional example.

[Drawing 14] It is the top view showing the detail of the discharge coil of other conventional examples.

[Drawing 15] It is the top view showing the detail of the discharge coil of still more nearly another conventional example.

[Drawing 16] It is the top view showing the discharge coil configuration of the plasma treatment equipment in other operation gestalten of this invention.

[Drawing 17] It is the top view showing the discharge coil configuration of the plasma treatment equipment in other operation gestalten.

[Drawing 18] It is the perspective view showing the plasma treatment equipment in other operation gestalten.

[Drawing 19] It is the side elevation of the discharge coil of the plasma treatment equipment of drawing 18 .

**[Description of Notations]**

1,101,102,103 Discharge coil of multiplex eddy type

1a Lead wire

3 Vacuum Housing

4 Substrate Electrode

5 Substrate

9 RF Generator for Discharge Coils

10 Matching Circuit for Discharge Coils

11 Interconnection Cable for Discharge Coils

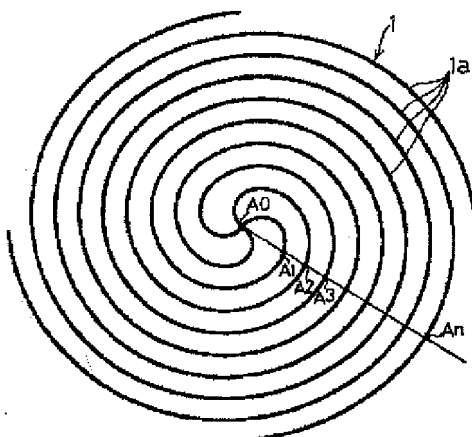
12 Lead Wire

20 Juxtaposition Coil for Matching

## DRAWINGS

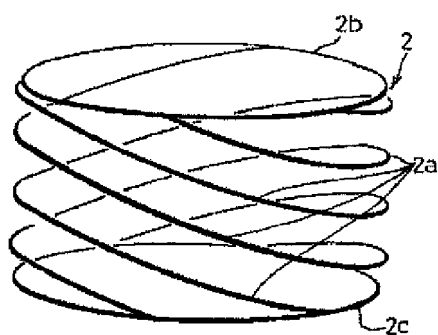
---

[Drawing 1]



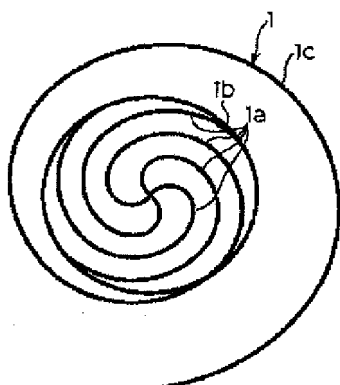
1...多重渦形の放電コイル

[Drawing 2]

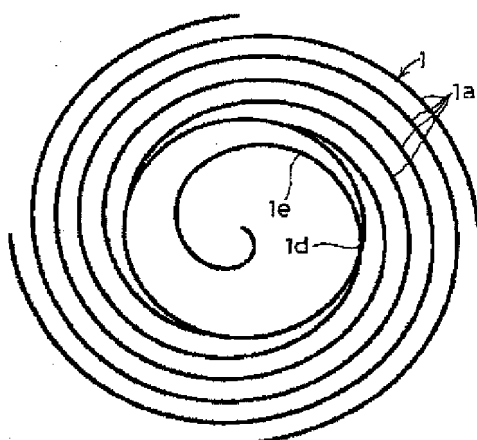


2…多重螺旋形の放電コイル

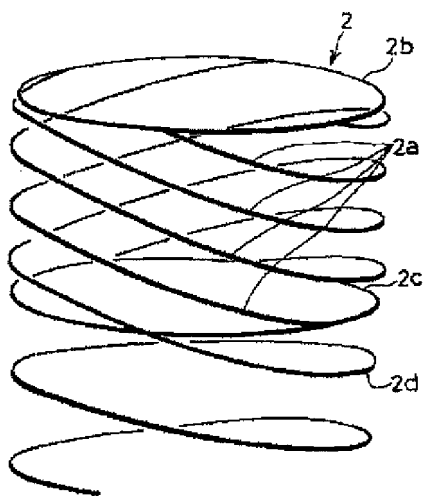
[Drawing 3]



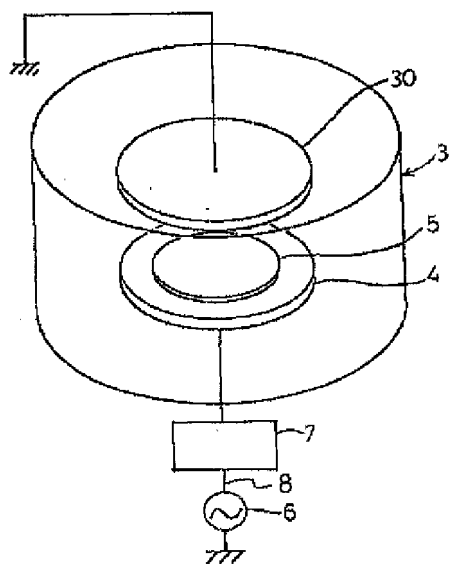
[Drawing 4]



[Drawing 5]

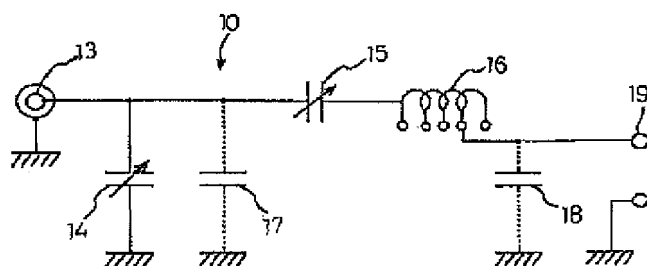


[Drawing 7]

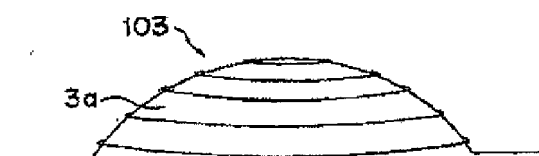


[Drawing 10]

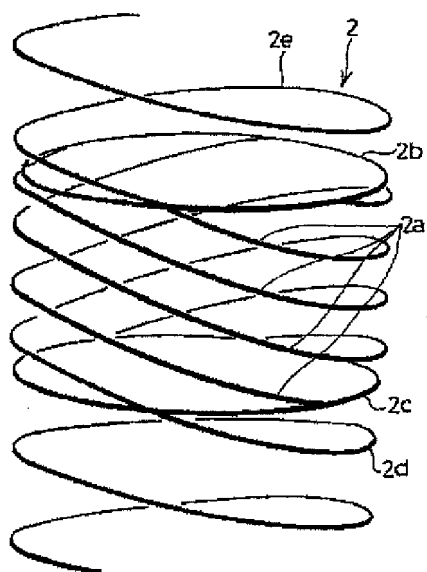




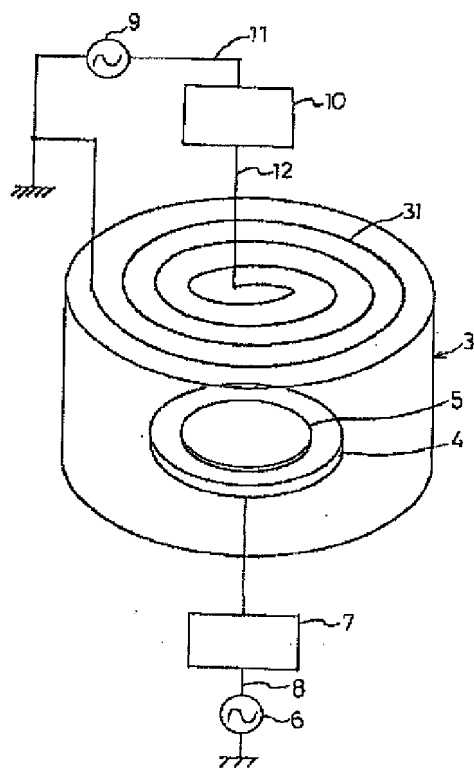
[Drawing 19]



[Drawing 6]

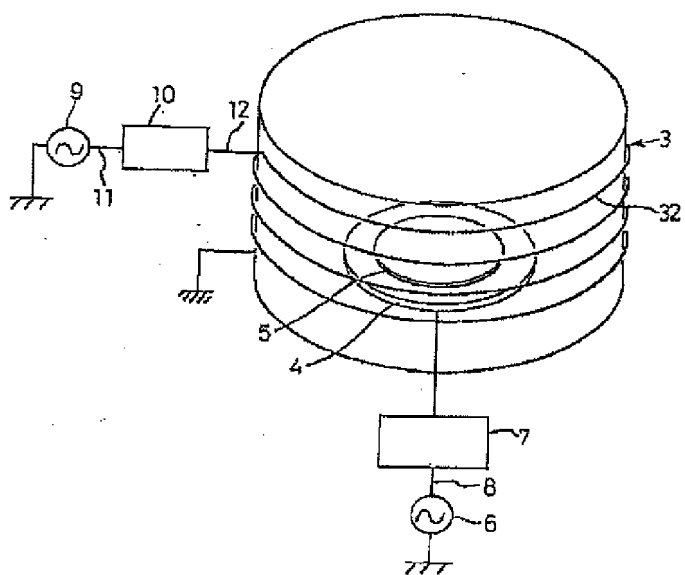


[Drawing 8]

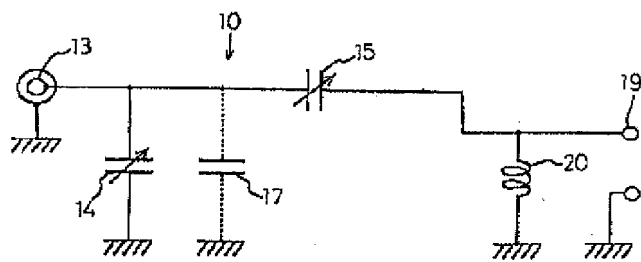


- 3...真空容器
- 4...基板電極
- 5...試料
- 9...放電コイル用高周波電源
- 10...放電コイル用マッチング回路
- 11...放電コイル用接続ケーブル
- 12...導線

[Drawing 9]

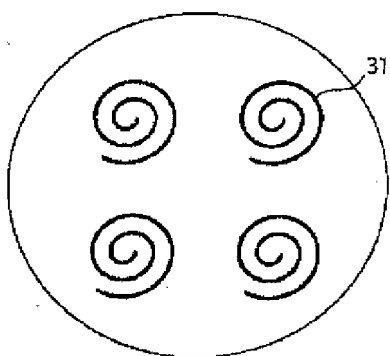


[Drawing 12]

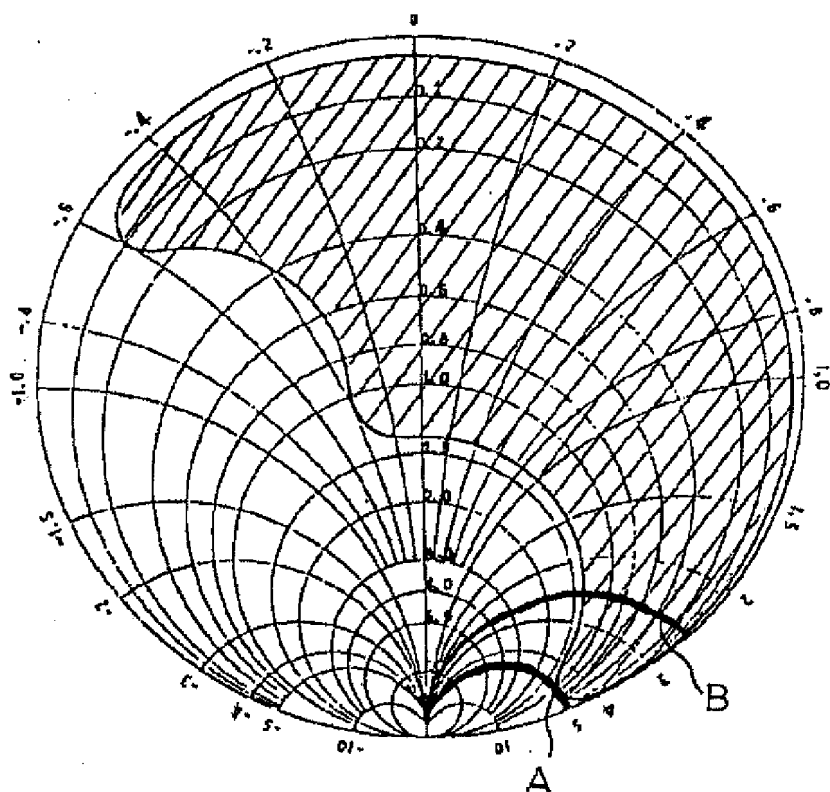


## 20…マッチング用並列コイル

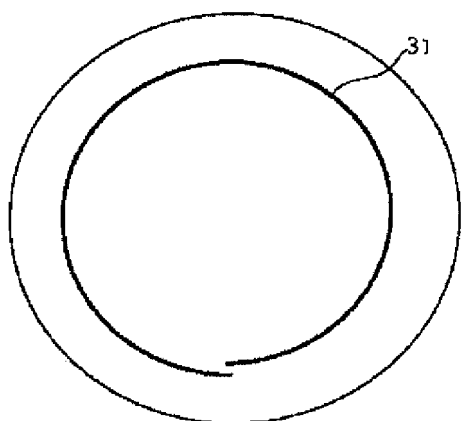
[Drawing 15]



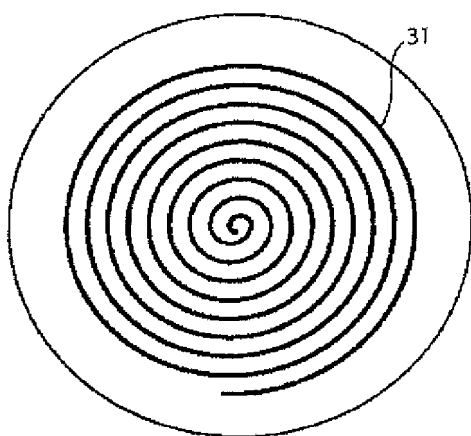
[Drawing 11]



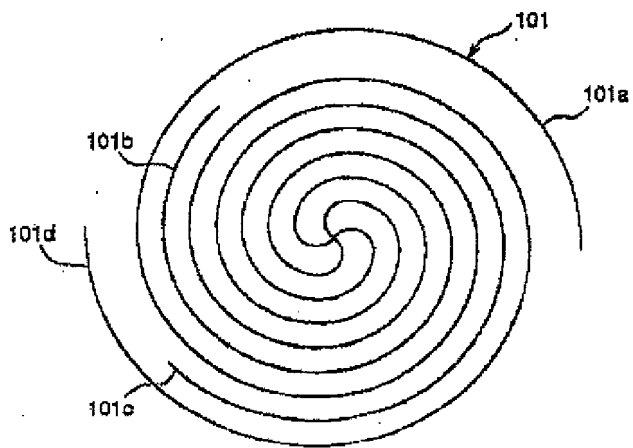
[Drawing 13]



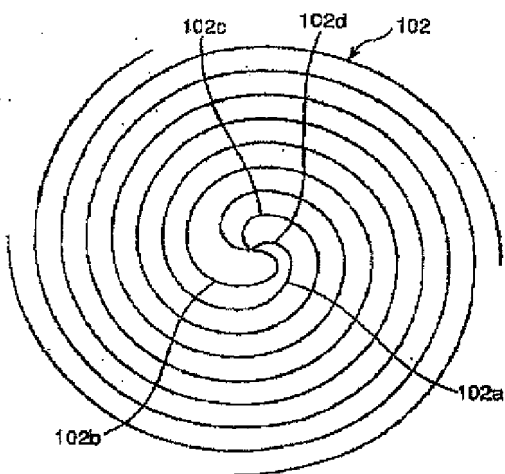
[Drawing 14]



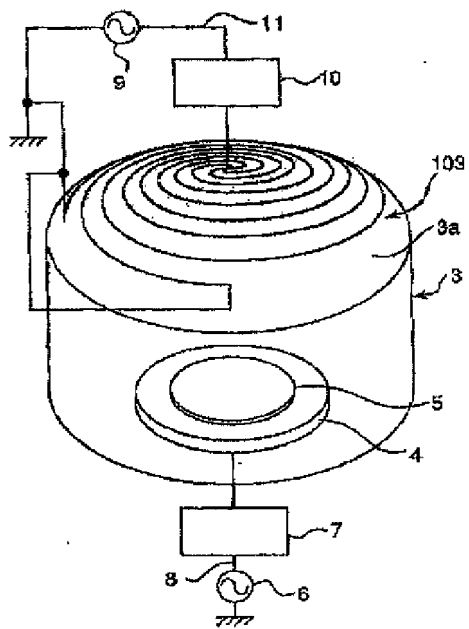
[Drawing 16]



[Drawing 17]



[Drawing 18]



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-82692

(43) 公開日 平成9年(1997)3月28日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	片内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L	21/3065		H 0 1 L 21/302	B
C 2 3 C	14/34		C 2 3 C 14/34	T
	16/58		16/58	
C 2 3 F	4/00		C 2 3 F 4/00	A
H 0 1 L	21/203		H 0 1 L 21/203	S

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-258557

(22) 出願日 平成7年(1995)10月5日

(31) 優先権主張番号 08/528164

(32) 優先日 1995年9月14日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 奥村 智洋

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 中山 一郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 柳 義弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

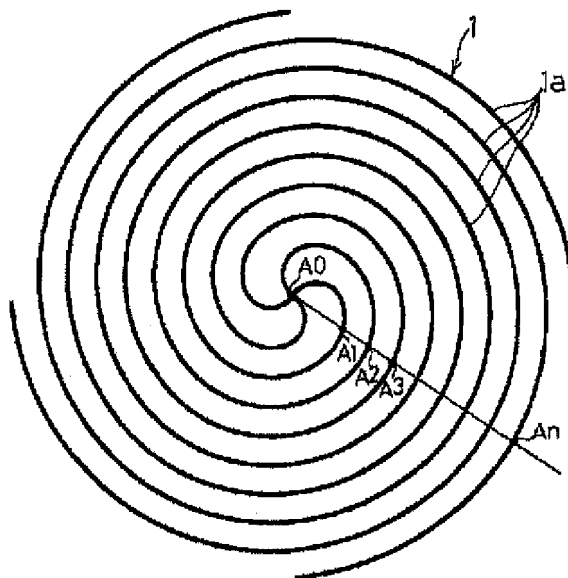
(74) 代理人 弁理士 石原 勝

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理装置

(57) 【要約】

【課題】 高周波誘導結合方式プラズマ処理装置において、放電コイル用マッチング回路のマッチング用並列コイルによる電力効率の低下を小さくし、温度上昇を小さくし、かつプラズマ密度の基板面内の分布を良好にする。

【解決手段】 放電コイル1を、一部又は全部が多重の渦形に形成すると共に、放電コイル1の中心側の上記放電コイルを構成する導線1aの互いに隣合う間隔が、放電コイル1の周辺側の放電コイルを構成する導線1aの互いに隣合う間隔より大きいように構成した。



1…多重渦形の放電コイル



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 真空容器と、基板電極と、放電コイルと、高周波電源と、放電コイルに導線にて接続され高周波電源に接続ケーブルにて接続されたマッチング回路とを備え、放電コイルに高周波電圧を印加することにより真空容器内にプラズマを発生させて基板電極上の基板を処理するプラズマ処理装置において、放電コイルをその一部又は全部を多重の渦形に形成すると共に、放電コイルの中心側の上記放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔が、放電コイルの周辺側の放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔より大きいようにしたことを特徴とするプラズマ処理装置。

【請求項2】 真空容器と、基板電極と、放電コイルと、高周波電源と、放電コイルに導線にて接続され高周波電源に接続ケーブルにて接続されたマッチング回路とを備え、放電コイルに高周波電圧を印加することにより真空容器内にプラズマを発生させて基板電極上の基板を処理するプラズマ処理装置において、放電コイルをその一部又は全部を多重の渦形に形成すると共に、釣り鐘形の立体的構造に形成したことを特徴とするプラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体および薄膜回路の製造過程におけるドライエッチング、スパッタリング、プラズマCVD等に利用できるプラズマ処理装置に関し、特に高周波誘導結合方式のプラズマ処理装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、半導体素子の微細化に対応して、ドライエッチング技術においては高アスペクト比の加工等を実現するために、またプラズマCVD技術においては高アスペクト比の埋め込み等を実現するために、より高真空中でプラズマ処理を行うことが求められている。

【0003】 例えば、ドライエッチングの場合においては、高真空中において高密度プラズマを発生させると、基板表面に形成されるイオンシース中でイオンが中性ラジカル粒子と衝突する確率が少なくなるために、イオンの方向性が基板に向かって揃い、また電離度が高いために基板に到着するイオン対中性ラジカル入射粒子束の比が大きくなる。このことから、高真空中において高密度プラズマを発生することによってエッチング異方性が高められ、高アスペクト比の加工が可能となる。

【0004】 また、プラズマCVDの場合においては、高真空中において高密度プラズマを発生させると、イオンによるスパッタリング効果によって微細パターンの埋め込み・平坦化作用が得られ、高アスペクト比の埋め込みが可能になる。

【0005】 従来一般的な平行平板型のプラズマ処理装置の構成を、図7を参照して説明する。図7におい

2

て、真空容器3内に基板5を載置する基板電極4と対向電極30とを配設し、これらの電極4、30間に電極用高周波電源6にて高周波電圧を印加することによって真空容器3内にプラズマを発生させるように構成されている。なお、電極用マッチング回路7は負荷インピーダンスを電極用接続ケーブル8の特性インピーダンスにマッチングさせるための回路である。

【0006】 この方式では、真空度が高くなるにつれて電子とイオンの衝突確率が減少するため、高真空中において高密度プラズマを発生することが難しく、十分な処理速度が得られず、また高周波電圧を無理に高くしてプラズマ密度を高くしようとすると、イオンエネルギーが大きくなり、エッチング選択比が低下したり、基板にダメージを与えることになる。

【0007】 この平行平板型のプラズマ処理装置に対して、高真空中において高密度プラズマを発生させることができるプラズマ処理装置の1つとして、放電コイルに高周波電圧を印加することによって真空容器内にプラズマを発生させる高周波誘導結合方式のプラズマ処理装置がある。この方式のプラズマ処理装置は、真空容器内に高周波磁界を発生させ、その高周波磁界によって真空容器内に誘導電界を発生させて電子の加速を行い、プラズマを発生させるもので、コイル電流を大きくすれば高真空中においても高密度プラズマを発生させることができ、十分な処理速度を得ることができる。

【0008】 高周波誘導結合方式のプラズマ処理装置としては、主として図8に示すような平板型と、図9に示すような円筒型が知られている。図8、図9において、31は平板型放電コイル、32は円筒型放電コイルであり、9は放電コイル用高周波電源、10は放電コイル用マッチング回路、11は放電コイル用接続ケーブルである。放電コイル用マッチング回路10と放電コイル31、32とは導線12にて接続されている。なお、真空容器3、基板電極4、基板5、電極用高周波電源6、電極用マッチング回路7、電極用接続ケーブル8は図7と同様である。

【0009】 図8、図9において、真空容器3内に適当なガスを導入しつつ排気を行い、真空容器3内を適当な圧力に保ちながら、放電コイル用高周波電源9により高周波電圧を放電コイル31、32に印加すると、真空容器3内にプラズマが発生し、基板電極4上に載置された基板5に対してエッチング、堆積、表面改質等のプラズマ処理を行うことができる。このとき、図8、図9に示すように、基板電極4にも電極用高周波電源6により高周波電圧を印加することで、基板5に到達するイオンエネルギーを制御することができる。

## 【0010】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図8、図9に示した従来の方式では、放電コイル用マッチング回路10内での電力損失が大きく、電力効率が低下する

3

のみならず、放電コイル用マッチング回路10の温度上昇が生じることがあるという問題がある。

【0011】以下に詳しく説明すると、図10は代表的な放電コイル用マッチング回路10の回路図である。13は入力端子、14、15は可変コンデンサ、16はマッチング用直列コイルである。可変コンデンサ14、15の容量をフィードバック制御することで、負荷インピーダンスの微変動に対応することができる。負荷インピーダンスの大きさによっては、マッチング用直列コイル16の巻数を変えたり、あるいはマッチング用直列コイル16を取り外したり、固定コンデンサ17又は18を挿入したりする必要がある。なお、19は出力端子である。

【0012】図11はスミスチャートで、斜線部分は図10に示した放電コイル用マッチング回路10の整合範囲を示す。当然のことながら、放電コイル用マッチング回路10内の各素子の定数によって図11に示す整合範囲も変化するが、ここでは代表的な場合を例示している。放電コイル31又は32のインピーダンスの複素表現において、その虚数部分が放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスの5倍の場合の放電コイル31又は32のインピーダンスを曲線Aに示す。図11から曲線Aの大部分が整合範囲から外れていることがわかる。

【0013】そこで、放電コイル用マッチング回路10において、図12に示すように、放電コイル31又は32のインピーダンスの複素表現における虚数部分と同一インピーダンスを持つマッチング用並列コイル20を接続したものがあ、その場合可変コンデンサ15の負荷側端子から負荷側をみたインピーダンスは、その虚数成分が曲線Aの半分、すなわち放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスの2.5倍となるから、図11の曲線Bで表される。通常、放電コイル31又は32のインピーダンスの実数成分はきわめて小さいので、曲線Bの一部（実数成分が放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスの1.3倍以下の大部分の範囲）が整合範囲内にあることから、マッチング用並列コイル20を用いることで、マッチングがとれるようになることがわかる。

【0014】以上の説明では、マッチング用並列コイル20のインピーダンスが放電コイル31又は32のインピーダンスと同一である場合について述べたが、放電コイル31又は32のインピーダンスが大きい場合はマッチング用並列コイル20のインピーダンスをかなり小さくしないとマッチングがとれない。また、放電コイル31又は32のインピーダンスがさほど小さくなくても、可変コンデンサ15の負荷側端子から負荷側をみたインピーダンスの虚数成分は小さければ小さいほどマッチングに対するマージンが広がるから、できるだけマッチング用並列コイル20のインピーダンスは小さくした

4

い。このようなケースでは、回路的にマッチング用並列コイル20と放電コイル31または32とは並列に接続されているので、放電コイル31又は32よりもマッチング用並列コイル20により大きな電流が流れることになる。したがって、マッチング用並列コイル20のインピーダンスの実数成分がたとえ小さな値であっても、そこでの電力損失は無視できなくなるとともに電力効率は低下する。そして、この電力損失はマッチング用並列コイル20の発熱量と等価であるから、放電コイル用マッチング回路10内の温度上昇を招くことになる。

【0015】また、平板型高周波誘導結合方式プラズマ処理装置の場合、真空容器3内に基板面内均一性よくプラズマを発生させようとすれば、少なくとも基板5の大きさと同じ大きさの放電コイル31が必要である。放電コイル31の形状としては、図13に示すような1巻コイルが考えられる。一般にコイルのインダクタンスはコイルの直径が大きいほど大きくなるから、結局、基板5が大きいときには放電コイル31のインダクタンスも大きくならざるを得ない。また、更に基板面内均一性を改善しようとするれば、放電コイル31の形状は、図14に示すような渦形コイルにするのが望ましい。渦形コイルと1巻コイルを比較すると、放電コイル31の最外径が同程度なら、渦形コイルの方が当然インダクタンスは大きい。我々の測定では、直径150mm内にあけるプラズマ密度の均一性が3%以内となるような渦形の放電コイル31のインダクタンスは、ある放電条件において、1.1μHであった。放電コイル用高周波電源9の周波数が13.56MHzのとき、放電コイル31のインピーダンスの虚数成分は94Ωであるから、放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスの一般的な値である50Ωの2倍弱となる。この程度の値であれば、マッチング用並列コイル20無しでもマッチングをとるのは可能であるが、先に述べたように、マッチングに対するマージンを考えると、マッチング用並列コイル20として0.5~1μH程度のコイルを挿入した方が、マッチングに対するマージンという観点からは望ましい。

【0016】ところで、放電コイル31のインピーダンスは周波数に比例するから、例えば放電コイル用高周波電源9の周波数が40MHzのときは、上記1.1μHの放電コイル31のインピーダンスは276Ω(=50Ω×5.5)となり、マッチングをとるためにはマッチング用並列コイル20が不可欠となる。

【0017】また、基板5が大きい場合や、バッチ処理したい場合に、大面積に均一なプラズマを発生させるためには、当然放電コイル31を大きくする必要があり、コイル用高周波電源9の周波数が13.56MHzであっても、放電コイル31のインピーダンスが数百Ωになることもある。この場合も、マッチングをとるためにはマッチング用並列コイル20が不可欠となる。

【0018】そこで、大面積に均一なプラズマを発生さ

5

せることができ、かつ放電コイル31のインピーダンスを小さくできるような放電コイルの構成として、図15に示すように、複数の渦形コイルを並列接続する方法が考えられる。しかし、このような放電コイル構成にすると、隣合うコイル同志の作る高周波磁界が一部相殺するため、十分なプラズマ密度を得ることができないという問題を生じる。我々の測定によれば、 $1.3\mu\text{H}$ の渦形コイルの1つを用いた場合に比較して、同じ渦形コイル4つを並列接続で用いた場合には、放電コイルのトータルインダクタンスは $0.51\mu\text{H}$ となり、59%に低減できたが、プラズマ密度は11%に低下してしまった。

【0019】円筒型高周波誘導結合方式プラズマ処理装置の場合、真空容器3の外側に螺旋形放電コイル32を配置しているので、少なくとも真空容器3の外形と同じ大きさの螺旋形放電コイル32を用いることになる。したがって、一般的に平板型高周波誘導結合方式プラズマ処理装置に比べて放電コイル32のインダクタンスは大きくなる。よって、マッチングをとるため、あるいはマッチングに対するマージン確保のため、マッチング用並列コイル20が必要となるケースは多い。我々の測定では、円筒の直径が300mmの場合、螺旋形放電コイル20のインダクタンスは $1.8\mu\text{H}$  ( $=150\Omega$ 、 $13.56\text{MHz}$ ) であった。

【0020】以上の説明からわかるように、処理面積の大型化、印加周波数の高周波数化のための放電コイル31又は32のインダクタンス増大、あるいはマッチングに対するマージンの拡大化のために、マッチング用並列コイル20が必要となるが、マッチング用並列コイル20を用いると、特にそのインピーダンスの虚数成分が小さい場合に、そこでは必然的に電力損失が生じるとともに、電力効率が低下する。そして、この電力損失はマッチング用並列コイル20の発熱量と等価であるから、放電コイル用マッチング回路10内の温度上昇を招くことになるという問題があった。

【0021】本発明は、上記従来の問題点に鑑み、マッチング用並列コイルとして特にインピーダンスの虚数成分が小さいコイルを用いる必要がないか、又はマッチング用並列コイルを必要とせず、したがって電力効率の低下が小さく、放電コイル用マッチング回路の温度上昇が小さい誘導結合方式プラズマ処理装置を提供することを目的とする。

【0022】

【課題を解決するための手段】本願の第1発明のプラズマ処理装置は、真空容器と、基板電極と、放電コイルと、高周波電源と、放電コイルに導線にて接続され高周波電源に接続ケーブルにて接続されたマッチング回路とを備え、放電コイルに高周波電圧を印加することにより真空容器内にプラズマを発生させて基板電極上の基板を処理するプラズマ処理装置において、放電コイルをその一部又は全部を多重の渦形に形成すると共に、放電コイ

6

ルの中心側の上記放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔が、放電コイルの周辺部の放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔より大きいようにしたことを特徴とする。

【0023】本願の第2発明のプラズマ処理装置は、真空容器と、基板電極と、放電コイルと、高周波電源と、放電コイルに導線にて接続され高周波電源に接続ケーブルにて接続されたマッチング回路とを備え、放電コイルに高周波電圧を印加することにより真空容器内にプラズマを発生させて基板電極上の基板を処理するプラズマ処理装置において、放電コイルをその一部又は全部を多重の渦形に形成すると共に、釣り鐘形の立体的構造に形成したことを特徴とする。

【0024】本願の第1発明によれば、放電コイルの一部又は全部が多重の渦形であるため、放電コイルのインピーダンスを小さくすることができ、その結果特にインピーダンスの虚数成分が小さいマッチング用並列コイルを用いなくてもマッチングをとることができる。また本願の第1発明によれば、放電コイルの中心側の上記放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔が、放電コイルの周辺側の放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔より大きいようにしているので、プラズマ密度の基板面内の分布を著しく向上させることができる。したがって、本願の第1発明によれば、電力効率の低下が小さく、プラズマ密度の基板面内の分布が良好で、放電コイル用マッチング回路の温度上昇が小さい誘導結合方式プラズマ処理装置を提供することができる。

【0025】本願の第2発明によれば、放電コイルの一部又は全部が多重の渦形であるため、放電コイルのインピーダンスを小さくすることができ、その結果特にインピーダンスの虚数成分が小さいマッチング用並列コイルを用いなくてもマッチングをとることができる。また本願の第2発明によれば前記放電コイルを釣り鐘形の立体的構造に形成しているので、放電コイルの外径を一定範囲内におさめることができながら、均一なプラズマを発生させることができる。したがって、本願の第2発明によれば、電力効率の低下が小さく、放電コイルの外径が小でありながらプラズマ発生密度の均一性が良好で、放電コイル用マッチング回路の温度上昇が小さい誘導結合方式プラズマ処理装置を提供することができる。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、第1の実施形態のプラズマ処理装置について図1と図8を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の全体構成は、従来例について図8を参照して説明したものと同一であり、その説明を援用してここでの説明を省略する。

【0027】本実施形態では、図8の放電コイル31の代わりに図1に示すように、多重渦形の放電コイル1を用いている。この放電コイル1は4つの渦形の放電コイル(導線)1aを中心部で1つに結合して周方向に等間

7

隔に配列したものであり、中心部が高周波電源9に接続され、外周端がそれぞれ接地されている。

【0028】このように構成されたプラズマ処理装置において、アルゴン流量30SCCM、圧力10mTorr、放電コイル用高周波電源9及び基板電極用高周波電源6の周波数はともに13.56MHz、投入電力がそれぞれ1000W、300Wのときの放電コイル1のインピーダンスを測定すると、 $1.5\Omega + j51\Omega$ であった。なお、放電コイル用接続ケーブル11は、特性インピーダンス50Ωのものを使用したので、放電コイル1のインピーダンスの虚数成分は放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスにほぼ等しい。従って、図11のスミスチャートから明らかなように、マッチング用並列コイル20を用いなくてもマッチングをとることができ、しかも十分なマッチングに対するマージンを確保できる。また、プラズマ密度の面内均一性も、直径150mm内において3%以下で、プラズマ密度としても従来例で示した平板型放電コイル31(図14)の場合と大差なかった。従来例で示した平板型放電コイル31の場合では、放電コイルのインピーダンスの虚数成分は94Ωであったから、この実施形態では従来例と比較して同等のプラズマが得られている一方で、放電コイルのインピーダンスの虚数成分を54%に抑えることができたことになる。

【0029】また、放電コイル用高周波電源9の周波数を40MHzに変えて実験を行ったところ、従来の渦形放電コイル31の場合にはマッチング用並列コイル20無しではマッチングがとれなかったが、多重渦形放電コイル1ではそのインピーダンスの虚数成分は150Ω(=50Ω×3)であるから、マッチング用並列コイル20を用いずにマッチングをとることができた。より広いマッチングに対するマージンを確保するために、マッチング用並列コイル20を用いてもよいが、同程度のマージン確保に必要なマッチング用並列コイル20のインピーダンスは多重渦形放電コイル1を用いた方がはるかに大きくて済むため、マッチング用並列コイル20での電力損失もはるかに小さくて済む。なお、多重渦形放電コイル1のインピーダンスの虚数成分が250Ω(=50Ω×5)になるのは電源周波数が67MHzの場合であるから、マージンを無視すれば、60MHz程度以下の周波数に対しては、図1の多重渦形放電コイル1でマッチング用並列コイル20無しでのマッチングが可能である。

【0030】図1では放電コイルの中心A<sub>0</sub>を通る直線が、放電コイル1を構成する導線(放電コイル1a)と交点A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、・・・、A<sub>n</sub>で交差し、中心A<sub>0</sub>と交点A<sub>1</sub>との間の間隔が他の交点A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>、・・・、A<sub>n</sub>間の間隔のいずれよりも大きくなっている。このように構成すれば、そうでない場合に比べて、プラズマ密度の基板面内の分布を著しく向上させる

8

ことができる。すなわち、このような効果を達成するために、放電コイルの中心側の上記放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔が、放電コイルの周辺側の放電コイルを構成する導線の互いに隣合う間隔より大きいように構成しているのである。

【0031】次に、第2の実施形態のプラズマ処理装置について図2と図9を参照して説明する。なお、プラズマ処理装置の全体構成は、従来例について図9を参照して説明したものと同一であり、その説明を援用してここでの説明を省略する。

【0032】本実施形態では、図9の放電コイル32の代わりに図2に示すように、多重螺旋形の放電コイル2を用いている。この放電コイル2は4つの螺旋形の放電コイル2aを周方向に等間隔に配列し、それらの両端が環状コイル2b、2cに接続され、一方の環状コイル2bが高周波電源9に接続され、他方の環状コイル2cが接地されている。

【0033】このように構成されたプラズマ処理装置において、アルゴン流量30SCCM、圧力10mTorr、放電コイル用高周波電源9及び基板電極用高周波電源6の周波数はともに13.56MHz、投入電力がそれぞれ1000W、300Wのときの放電コイル2のインピーダンスを測定すると、 $1.8\Omega + j79\Omega$ であった。なお、放電コイル用接続ケーブル11は、特性インピーダンス50Ωのものを使用したので、放電コイル2のインピーダンスの虚数成分は放電コイル用接続ケーブル11の特性インピーダンスの1.6倍である。従って、図11のスミスチャートから明らかなように、マッチング用並列コイル20を用いなくてもマッチングをとることができ、しかも十分なマッチングに対するマージンを確保できる。プラズマ密度としても従来例で示した円筒型放電コイル32の場合と大差なかった。従来例で示した円筒型放電コイル32の場合では、放電コイルのインピーダンスの虚数成分は150Ωであったから、この実施形態では従来例と比較して同等のプラズマが得られている一方で、放電コイルのインピーダンスの虚数成分を53%に抑えることができたことになる。

【0034】また、放電コイル用高周波電源9の周波数を27MHzに変えて実験を行ったところ、従来の円筒型放電コイル32の場合にはマッチング用並列コイル20無しではマッチングがとれなかったが、多重螺旋形放電コイル2ではそのインピーダンスの虚数成分は158Ω(=50Ω×3.2)であるから、マッチング用並列コイル20を用いずにマッチングをとることができた。より広いマッチングに対するマージンを確保するために、マッチング用並列コイル20を用いてもよいが、同程度のマージン確保に必要なマッチング用並列コイル20のインピーダンスは多重螺旋形放電コイル2を用いた方がはるかに大きくて済むため、マッチング用並列コイル20での電力損失もはるかに小さくて済む。な

9

お、多重螺旋形放電コイル2のインピーダンスの虚数成分が $250\Omega (=50\Omega \times 5)$ になるのは電源周波数が $43\text{MHz}$ の場合であるから、マージンを無視すれば、 $40\text{MHz}$ 程度以下の周波数に対しては、図2の多重螺旋形放電コイル2でマッチング用並列コイル20無しでのマッチングが可能である。

【0035】上記各実施形態において、放電コイルの形状はこれらに限定されるものではない。例えば、渦形コイル、螺旋形コイルの多重度は4でなくてもよく、何重であってもかまわない。多重度が高いほど放電コイルのインピーダンスは小さくできるため、より大きな処理面積への対応、より高い電源周波数への対応が可能となる。また、放電コイルが多重の渦形、あるいは多重の螺旋形であるのは、必ずしも放電コイル全部である必要はない。図3、図4、図5、図6に示すような放電コイルの一部が多重の渦形、あるいは多重の螺旋形であってもよい。

【0036】図3の例では、中心部が多重渦形コイル1にて構成され、各渦形コイル1aの外端が環状コイル1bに接続され、その外側に通常の渦形コイル1cが接続されている。図4の例では外周部が多重渦形コイル1にて構成され、各渦形コイル1aの内周端が環状コイル1dに接続され、その内側に通常の渦形コイル1eが接続されている。

【0037】図5の例では、多重螺旋形コイル2の下部に通常の螺旋形コイル2dが接続されている。図6の例では多重螺旋形コイル2の上部と下部の両方に通常の螺旋形コイル2d、2eが接続されている。

【0038】図1の放電コイル1では、同一形状の4つの渦形の導線1a、・・・、1aの中心側の端部を互いに90度の角度をなすように中心A<sub>0</sub>で接続し、放電コイル1は中心に対して対象になっているが、この構成に限ることはない。すなわち、例えば、図16に示すように、異なる形状を持つ渦形の導線101a、101b、101c、101dを放電コイル101の中心で接続するようにしてもよい。

【0039】また、図17に示すように、導線102a、102b、102c、102dの中心側の端部を互いに放電コイル102の中心で任意の角度で接続するようにしてもよい。これらの放電コイル101、102は中心に対して非対称になっている。さらに、図18、図19に示すように、多重の渦形に形成された放電コイル103を釣り鐘形の立体的構造に構成するようにしてもよい。このように構成することにより、放電コイル103の外径を一定範囲内におさめることができながら、均一なプラズマを発生させることができるという効果も生ずる。

【0040】また、本発明において、放電コイルの導線の本数は4本に限定されるものではなく、2本にしてもよい。また、放電コイルの外周端を接地するものに限ら

10

ず、中心端を接地してもよい。

【0041】

【発明の効果】本願の第1発明のプラズマ処理装置によれば、電力効率の低下が小さく、プラズマ密度の基板面内の分布が良好で、放電コイル用マッチング回路の温度上昇が小さい誘導結合方式プラズマ処理装置を提供することができる。

【0042】また、本願の第2発明のプラズマ処理装置によれば、電力効率の低下が小さく、放電コイルの外径が小さくでありながらプラズマ発生密度の均一性が良好で、放電コイル用マッチング回路の温度上昇が小さい誘導結合方式プラズマ処理装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施形態におけるプラズマ処理装置の放電コイル形状を示す平面図である。

【図2】第2の実施形態におけるプラズマ処理装置の放電コイル形状を示す斜視図である。

【図3】他の形態の放電コイル形状を示す平面図である。

【図4】さらに別の形態の放電コイル形状を示す平面図である。

【図5】さらに別の形態の放電コイル形状を示す斜視図である。

【図6】さらに別の形態の放電コイル形状を示す斜視図である。

【図7】従来例の平行平板型のプラズマ処理装置の構成図である。

【図8】従来例の平板型高周波誘導結合方式プラズマ処理装置の構成図である。

【図9】従来例の円筒型高周波誘導結合方式プラズマ処理装置の構成図である。

【図10】代表的な放電コイル用マッチング回路の構成図である。

【図11】図10のマッチング回路の整合範囲を示すスミスチャートである。

【図12】マッチング用並列コイルを用いた放電コイル用マッチング回路の構成図である。

【図13】従来例の放電コイルの詳細を示す平面図である。

【図14】他の従来例の放電コイルの詳細を示す平面図である。

【図15】さらに別の従来例の放電コイルの詳細を示す平面図である。

【図16】本発明の他の実施形態におけるプラズマ処理装置の放電コイル形状を示す平面図である。

【図17】他の実施形態におけるプラズマ処理装置の放電コイル形状を示す平面図である。

【図18】他の実施形態におけるプラズマ処理装置を示す斜視図である。

【図19】図18のプラズマ処理装置の放電コイルの側

面図である。

【符号の説明】

1、101、102、103 多重渦形の放電コイル

1a 導線

3 真空容器

4 基板電極

5 基板

9 放電コイル用高周波電源

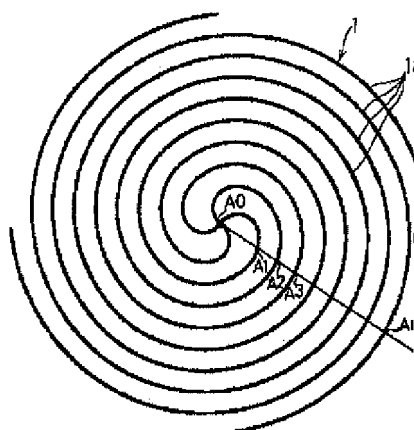
10 放電コイル用マッチング回路

11 放電コイル用接続ケーブル

12 導線

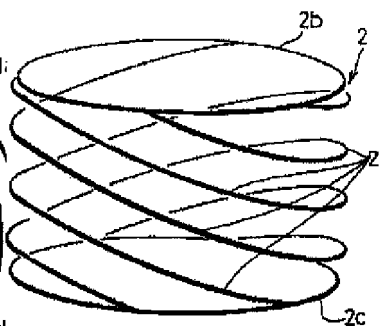
20 マッチング用並列コイル

【図1】



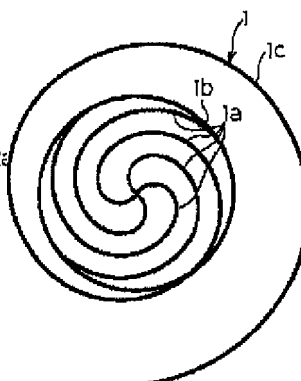
1…多重渦形の放電コイル

【図2】

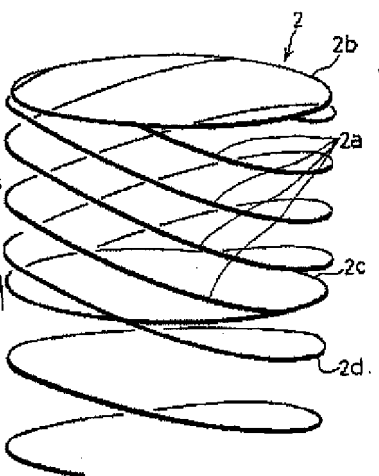


2…多重螺旋形の放電コイル

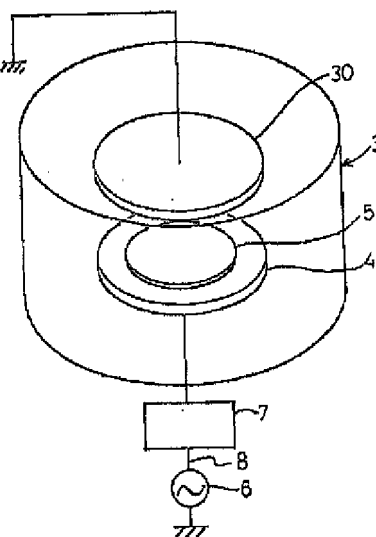
【図3】



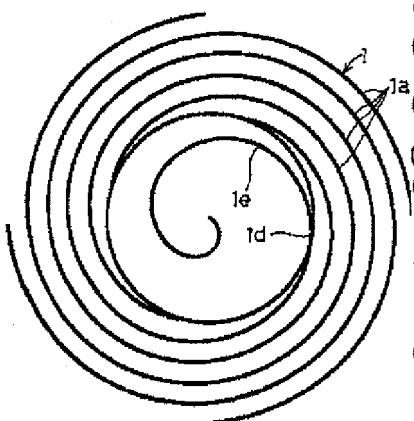
【図5】



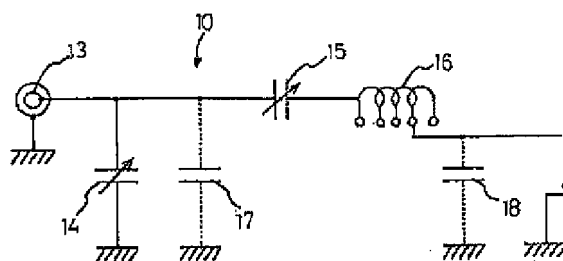
【図7】



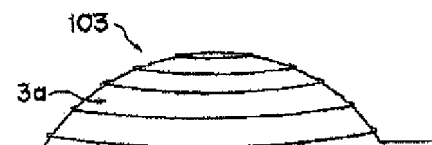
【図4】



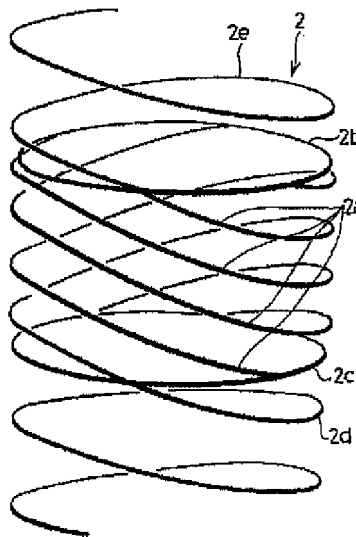
【図10】



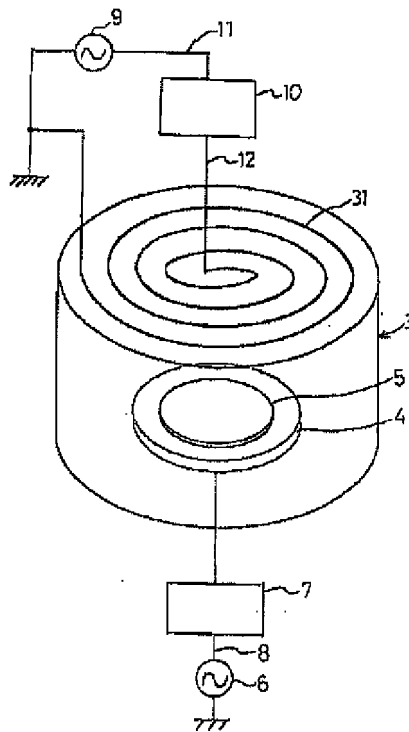
【図19】



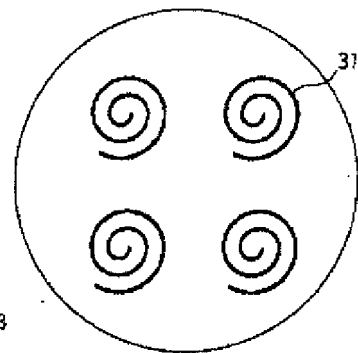
【図6】



【図8】

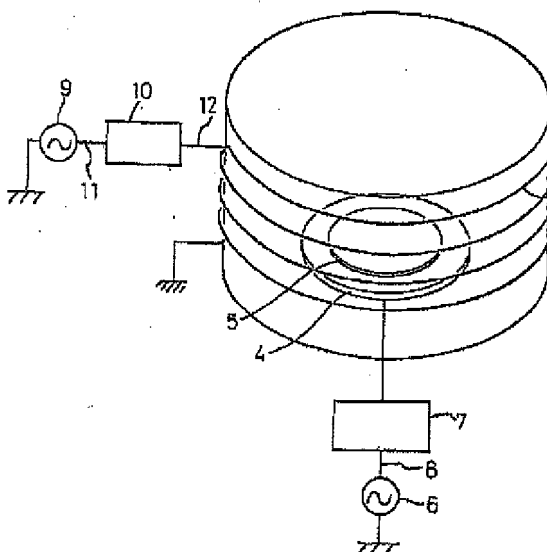


【図15】

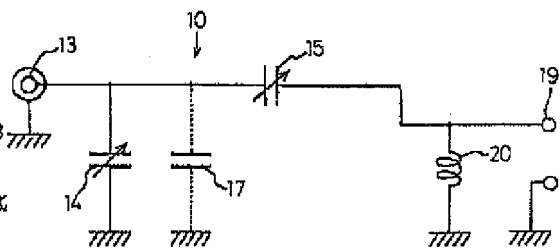


- 3...螺旋コイル  
 4...接地電極  
 5...導体  
 9...放電コイル用高周波電源  
 10...放電コイル用マッチング回路  
 11...放電コイル用接続ケーブル  
 12...導線

【図9】

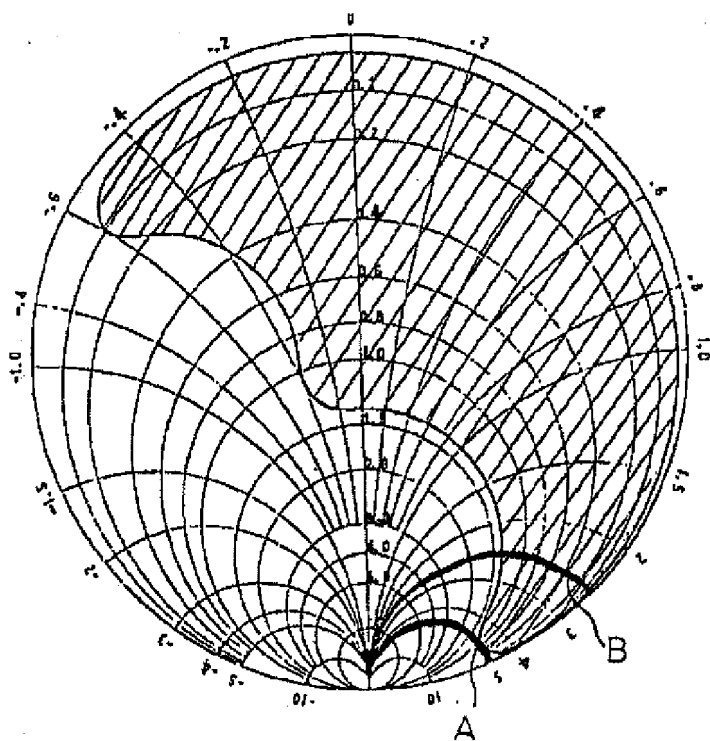


【図12】

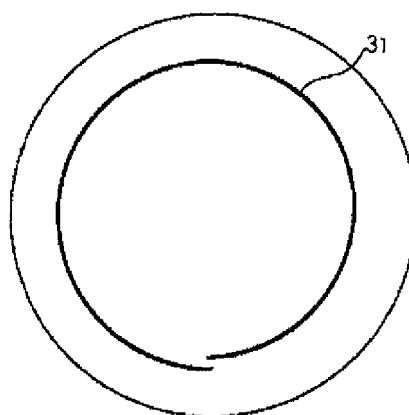


20...マッチング用並列コイル

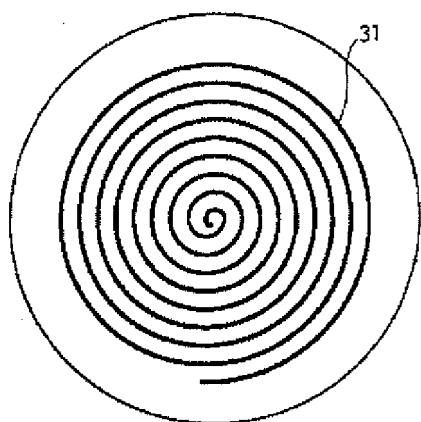
【図11】



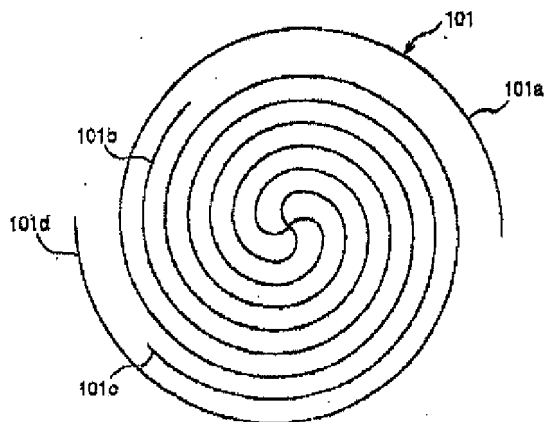
【図13】



【図14】

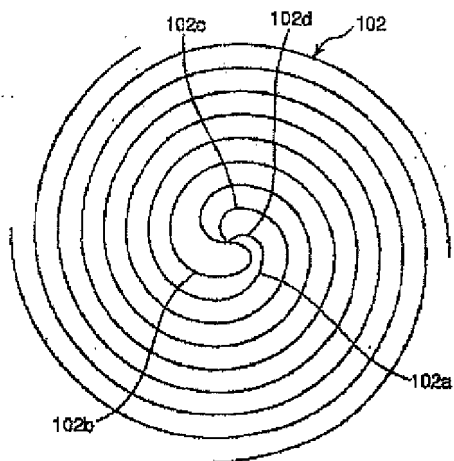


【図16】

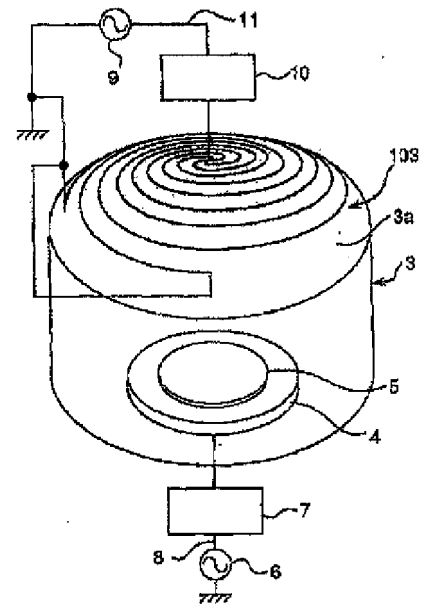




【図17】



【図18】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 6

H 0 1 L 21/205

H 0 5 H 1/46

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 L 21/205

H 0 5 H 1/46

技術表示箇所

B

L